

Outils d'observation et d'analyse de simulations multi-agents

L'expérience de la plate-forme Geamas/Biomass

Observation and analysis tools for multi-agent simulations

Experience from the Geamas/Biomass platform

Denis Payet

Université de la Réunion - Iremia
BP 7, 97715 Saint-Denis, La Réunion – France
Tel. 262 (0)2 62 93 82 82
Fax 262 (0)2 62 62 93 82 60
E.mail : d.payet@univ-reunion.fr

Jean-Michel Médoc

Cirad – Upr Relier
BP 20, 97408 Saint-Denis, La Réunion – France
Tel. 262 (0)2 62 92 24 59
Fax 262 (0)2 62 92 24 54
E.mail : jean-michel.medoc@cirad.fr

Tiana Ralambondrainy

Cirad – Upr Relier
BP 20, 97408 Saint-Denis, La Réunion – France
Tel. 262 (0)2 62 92 24 55
Fax 262 (0)2 62 92 24 54
E.mail : tiana.ralambondrainy@cirad.fr

François Guerrin

Cirad – Upr Relier
BP 20, 97408 Saint-Denis, La Réunion – France
Tel. 262 (0)2 62 92 24 58
Fax 262 (0)2 62 92 24 54
E.mail : francois.guerrin@cirad.fr

Rémy Courdier

Université de la Réunion - Iremia
BP 7, 97715 Saint-Denis, La Réunion – France
Tel. 262 (0)2 62 93 82 83
Fax 262 (0)2 62 93 82 60
E.mail : courdier@univ-reunion.fr

Résumé

Afin d'aider les acteurs agricoles à améliorer leurs pratiques et réduire les risques environnementaux, nous avons développé un modèle multi-agents basé sur la plate-forme de simulation Geamas [Marcenac et Courdier, 1999]. Ce modèle, nommé Biomas [Courdier et al, 2002], permet de simuler les flux de transfert de matières organiques entre exploitations agricoles localisées au sein d'un territoire. L'objectif est d'aider les acteurs agricoles à expérimenter de multiples options de gestion collective par le biais de simulation, à l'instar du projet Farmscape mené par le CSIRO australien [McCown, 2002].

Après une phase préliminaire de mise au point et de test du modèle sur différents cas d'école, nous en sommes actuellement à utiliser ce SMA pour aider les éleveurs de Grand-Ilet (cirque de Salazie, La Réunion) à gérer leurs effluents d'élevage. Cette localité présente, en effet, une situation particulièrement critique du point de vue de l'environnement car elle rassemble sur une superficie agricole très réduite (187 ha) le quart de la production porcine réunionnaise générant 17000 m³/an de lisier.

Les scénarios de simulation envisagés mettent en jeu plus d'une centaine d'agents (éleveurs, élevages, moyens de transport, unité de traitement, groupement d'exploitants). Ces agents, de nature hybride (réactive et cognitive), ont la particularité d'être largement différents les uns des autres. Chaque simulation donne ainsi lieu à des combinaisons d'interactions particulièrement complexes à analyser. Conformément à la philosophie SMA, la plate-forme Geamas permet une observation globale du système d'agents représenté. Il est nécessaire, cependant, pour vérifier ou expliquer ce comportement global, de pouvoir suivre l'évolution détaillée de chaque agent, non seulement en phase de mise au point du modèle, mais aussi pour l'acceptation ultérieure des simulations réalisées par les utilisateurs concernés.

Parmi les plates-formes SMA existantes, nous distinguons celles à vocation générique, telles que Jade, Madkit, Swarm,... qui privilégient largement les outils de construction de modèles par rapport aux outils de visualisation et d'analyse des résultats de simulation, et celles conçues dans des domaines d'application spécifiques, telles que Cormas pour la gestion des ressources renouvelables [Bousquet et al, 1998] mais qui, au-delà de fonctionnalités de visualisation de données observables (grille de répartition spatiale des agents, courbes d'évolution temporelle de variables...) offrent peu d'outils d'analyse des interactions entre agents.

Partant de ce constat, nous avons élaboré un ensemble d'outils de visualisation et d'analyse de simulations multi-agents que nous exposons dans cet article, en illustrant leur intérêt sur l'un des scénarios étudiés dans le cadre du problème posé à Grand-Ilet.

Nous concluons sur une synthèse des fonctionnalités exigibles des plates-formes Agent pour aider, à la fois, les modélisateurs et les utilisateurs à interpréter les simulations de scénarios complexes.

Abstract

In order to help agricultural stakeholders improve their practices and minimize environmental risks, we developed a multi-agent model based on the Geamas modelling and simulation platform [Marcenac and Courdier, 1999]. This model, called Biomas [Courdier et al, 2002], allows us to simulate organic matter fluxes transferred amongst a set of farms located within a territory. Similarly to the Farmscape project leaded by CSIRO in Australia [McCown, 2002], our aim is to provide the agricultural stakeholders with a support to experiment by means of simulation various management options.

After a preliminary phase of checking the model against various toy-examples, we are now about to apply the MAS model to support the farmers of Grand-Ilet (cirque of Salazie, Reunion Island) manage their livestock effluents. Actually, this community exhibits a very critical situation in terms of the environment as it concentrates on a very small agricultural land (187 ha) 25% of the pig production in Reunion, generating an amount of 17 000 m³ per year slurry.

The simulation scenarios that must be addressed put into play over one hundred agents (farmers, livestock enterprises, means of transportation, slurry treatment unit, group of farmers). These agents of hybrid reactive/cognitive nature have the distinctive feature of being merely different one from each other. Each simulation gives thus rise to many intricate interactions particularly complex to analyse. In accordance with the 'MAS philosophy', the Geamas platform allows global observations to be performed of the overall represented agent system. However, in order to verify or explain this global behaviour, it is often necessary to be capable of monitoring the detailed individual behaviour of each agent, not only during the phase of model verification, but also for the simulations be well-accepted by the end-users in the next phase.

Among existing MAS simulation platforms, one can distinguish between those having a generic aim, such as Jade, Madkit, Swarm,... that put forward model-building tools compared with tools to display and analyse simulation outputs and those devised with an aim of application to specific fields, as Cormas for renewable resource management [Bousquet et al, 1998], which, beyond functions enabling the display of observable data (spatial grid, time evolution graphics of variables) provide the user with few tools to analyse agent interactions.

In front of this, we conceived a set of specific tools to display and analyse multi-agent simulations. These tools are described in this paper and their use illustrated upon one of the scenario studied in the framework of the real issue dealt with in Grand-Ilet.

We conclude this paper by synthesizing the functions to be expected in agent simulation platforms to help both modellers and users interpret complex simulation scenarios outputs.

Mots-clés : simulation, système multi-agents, outils d'observation, aide à la décision, effluents d'élevage, gestion de flux.

Keywords: simulation, multi-agent system, observation tools, decision-making, livestock effluents, fluxes management.

1. Introduction

L'intérêt des systèmes multi-agents n'est plus à démontrer pour simuler les phénomènes émergents résultant des interactions entre agents dotés de caractéristiques diverses. Le grand nombre d'agents (plusieurs centaines) mis en jeu dans les scénarios de simulation réalistes soulève toutefois deux questions :

- Comment appréhender les phénomènes émergeant à l'échelle globale de la société d'agents représentée ?
- Comment expliquer ces phénomènes à partir des processus sous-jacents ?

Ces besoins s'expriment, notamment, lors de trois grandes phases du cycle de vie d'un modèle [Rykiel, 1996] :

- Implémentation, mise au point, et vérification par un modélisateur : le modèle fonctionne-t-il correctement ?
- Validation, résultant d'un dialogue entre modélisateur et utilisateur : le modèle est-il conforme à l'objectif de représentation poursuivi ?
- Utilisation du modèle en situation opérationnelle, de recherche, ou d'apprentissage : le modèle permet-il de répondre aux questions posées sur le système représenté et de comprendre son fonctionnement ?

La satisfaction de ces besoins nécessite, tant pour le modélisateur que pour l'utilisateur, des fonctionnalités d'observation des simulations réalisées à des

échelles allant du local (l'agent) au global (l'ensemble des agents et leur environnement). C'est également le constat fait par [Grimm 2002] qui insiste, en outre, sur l'intérêt des outils de visualisation pour faciliter la communication de modèles de simulation informatique (par opposition à analytique) à des utilisateurs non avertis (y compris des pairs chargés de leur évaluation).

Partant de ce constat, nous avons doté la plate-forme Geamas [Marcenac et Courdier, 1999] d'un ensemble d'outils de visualisation et d'analyse de simulation multi-agents que nous décrivons ici en tentant de montrer, sur une application de taille réaliste, comment ils permettent de répondre aux objectifs de compréhension et de réponse aux questions posées sur le système représenté. Contrairement au projet SimExplorer [Cemagref, 2005], notre objectif dans cet article n'est pas de proposer des solutions techniques mais, en suivant une approche « par l'usage », d'identifier les fonctions d'une plate-forme de simulation permettant de répondre aux besoins d'observation.

Dans une première partie, nous décrivons de manière synthétique la situation sur laquelle nous effectuons des simulations de flux de matières organiques et le SMA Biomas. Dans une deuxième partie, nous présentons l'ensemble des outils que nous avons élaborés pour l'observation et l'analyse de ces simulations. Nous concluons par une synthèse des fonctionnalités exigibles des plate-formes de simulation multi-agents pour aider, à la fois, les modélisateurs et les utilisateurs à interpréter les simulations de scénarios complexes.

2. Application support illustrant l'utilisation d'outils d'observation

2.1. Simulation de flux de matières organiques

Dans le cadre d'un projet financé par le Gis « Porcherie verte », nous menons un programme de recherche sur le cas de la localité de Grand-Ilet (Cirque de Salazie, La Réunion) qui implique 47 éleveurs et 51 élevages de porcs représentant 25% de la production réunionnaise, dans un contexte de mise aux normes des élevages et d'application de la réglementation par les services de l'Etat (Daf). Au total 17 000 m³/an de lisier de porcs doivent être gérés, en relation avec 3 300 t/an de fumier de volailles et 2 700 t/an de lisier de poule, alors que la SAU disponible dans cette zone de montagne n'est que de 187 ha, dont 75 ha seulement de terres cultivées. Dans ce contexte très critique sur les plans humain et écologique, les décisions à prendre portent sur les points suivants :

1. Exportation des effluents hors de la zone ou traitement sur place ?
2. Quel type de procédé de traitement ?
3. Quel dimensionnement de l'unité de traitement selon le procédé choisi ? A quel coût ?
4. Quelles politiques d'approvisionnement de l'unité de traitement ? (nombre et capacité des moyens de transport, organisation des livraisons, force de travail nécessaire, coût...)
5. Quelles modalités d'élimination ou de valorisation des coproduits ? (phases liquide et solide obtenues après traitement).

La question 1 a été abordée par l'évaluation des coûts de transport impliqués par une exportation hors du cirque et par l'utilisation d'un SIG permettant de calculer les superficies potentiellement épandables dans la zone réceptrice, compte tenu des exclusions réglementaires (proximité d'habitation, cours d'eau, etc.), des sources concurrentes de matières organiques, et des pratiques de fertilisation des agriculteurs. L'étude a conclu à la nécessité du traitement du lisier de porc sur place, par une unité de traitement collective desservie par l'ensemble des élevages. Les questions 2 et 3 ont ensuite été traitées par utilisation du modèle Macsizut [Farinet et al., 2003] en comparant les rapports coût/efficacité des 11 procédés de traitement agréés par les Agences de l'Eau.

Le système multi-agents Biomass, que nous décrivons ci-après, est actuellement utilisé, avec un autre modèle (« Approzut » ; [Guerrin, 2004]), pour trouver des solutions aux questions 4 et 5. Il doit permettre, plus généralement, de simuler l'ensemble de cette « supply chain » et d'en évaluer le fonctionnement. Dans cette perspective, les outils d'observation que nous allons décrire prennent toute leur importance. En effet, les scénarios de simulation envisagés mettent en jeu plus d'une centaine d'agents (éleveurs, élevages, moyens de transport, unité de traitement, groupement d'exploitants...). Ces agents, de nature hybride, réactive et cognitive, ont la particularité d'être largement différents les uns des autres. Chaque simulation donne ainsi lieu à des combinaisons d'interactions particulièrement complexes à analyser.

2.2. Description synthétique du SMA Biomass

Le système multi-agents Biomass a été développé pour simuler des flux de matières organiques (MO) au sein d'un territoire vu sous l'angle de la gestion collective des effluents d'élevage [Courdier et al., 2002]. L'objectif est d'aider les acteurs agricoles à expérimenter des options de gestion par simulation, à l'instar du projet Farmscape mené par le CSIRO australien [McCown, 2002].

On distingue dans Biomass quatre catégories d'agents :

- Les agents « subordonnés » représentant les entités physiques du système : élevages, cultures, moyens de transport, unités de transformation ou de stockage de MO...
- Les agents humains gérant ces entités et capables de négociation : exploitants agricoles, transporteurs, gestionnaire d'unité de traitement...
- Les « groupements » représentant la structure organisationnelle regroupant certains agents et leur imposant un ensemble de contraintes ;
- La « société » dans son ensemble représentée par le système Biomass.

Toute entité physique s'inscrit dans un environnement spatialisé par l'intermédiaire d'une entité nommée « objet situé ».

L'objectif d'un agent producteur de MO brute ou transformée (élevage, unité de transformation) est d'exporter sa production ; symétriquement, celui d'un agent consommateur (culture, unité de transformation) est d'importer la MO nécessaire à la satisfaction de ses besoins. Ces agents interagissent au sein de réseaux d'acointances, définissant les relations privilégiées qu'ils entretiennent pour négocier le transfert de matière organique. Un agent Groupement représente une structure de gestion collective visant la transformation des effluents d'élevage des exploitants adhérents auxquels il impose des contraintes.

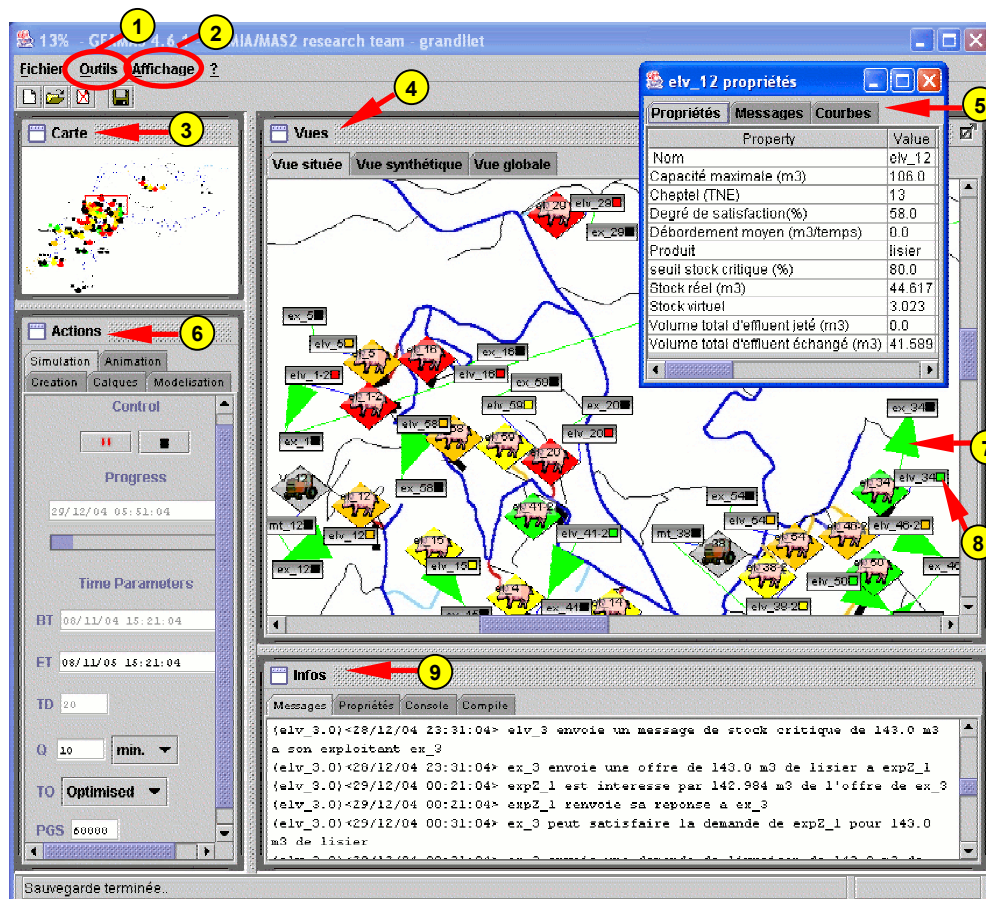


Figure 1 : Interface de la plate-forme Geamas/Biomass.

- Outils d'analyse de simulation : traceur de messages, grapheur de courbes d'évolution d'attributs dynamiques.
- Outils de paramétrage des indicateurs de satisfaction (couleurs, seuils, état général et instantané).
- Panneau Carte : miniature représentant l'ensemble des agents et objets situés positionnés sur le territoire.
- Panneau Vues : affichage détaillé de la simulation en cours localisant les entités du système (agents et objets situés) dans l'environnement géographique.
- Fenêtre Propriétés : « inspecteur d'agent » donnant accès aux informations propres à un agent.
- Panneau Actions : configuration et contrôle du déroulement de la simulation.
- Indicateur d'interaction : pointe de flèche d'épaisseur proportionnelle au volume de messages échangés entre agents.
- Indicateur de satisfaction : état qualitatif des agents selon un code de couleurs paramétrables.
- Panneau Infos : informations sur le déroulement de la simulation et liste des messages échangés.

3. Outils d'observation et d'analyse

La plate-forme Geamas est équipée de fonctionnalités de paramétrage des outils d'observation qui peuvent être utilisés en cours de simulation ou après l'achèvement de celle-ci. Son interface graphique se compose de quatre panneaux principaux : 'Carte', 'Actions', 'Vues' et 'Infos' qui permettent d'accéder aux différents outils (Fig. 1). Ces outils d'observation peuvent être regroupés en deux catégories : les outils d'observation et d'analyse à l'échelle de l'individu ; les outils d'observation et d'analyse à l'échelle supra-individuelle.

3.1. Observation à l'échelle de l'individu

Comprendre le fonctionnement d'un agent nécessite d'avoir accès, parmi l'ensemble des données générées par une simulation, à un ensemble restreint d'informations quantitatives ou qualitatives propres.

3.1.1. Observation détaillée

Toutes les informations spécifiques à un agent (valeurs des attributs, messages, courbes d'évolution des attributs) sont observables (et éventuellement éditables), en cours de simulation et lors d'une analyse post-simulation, par un « inspecteur d'agent » (Fig. 1, item n°5). Un accès rapide aux valeurs des attributs est également possible par la fenêtre 'Infos' (Fig. 1, item n°9). Ceci permet de réduire la « distance articulatoire » [Norman et Draper, 1986] pour l'utilisateur souhaitant consulter successivement les valeurs d'attributs de différents agents.

L'inspecteur d'agent présente trois onglets :

1. Propriétés (Fig. 2) - Regroupe l'ensemble des attributs statiques et dynamiques qui caractérisent l'agent. Lorsque cette fenêtre est active, l'utilisateur peut suivre en direct l'évolution des attributs dynamiques.
2. Messages (Fig. 3) - Affiche deux types de messages : (i) les messages échangés par l'agent observé avec les autres agents de son réseau d'accointances, et (ii) des messages émis par cet agent à destination de l'utilisateur (cf. Fig. 3 : envoi d'un message alertant d'une rupture de stock de l'unité de traitement).
3. Courbe (Fig. 4) - Permet de visualiser l'évolution temporelle des attributs d'un agent ; ces courbes peuvent être comparées par superposition avec celles issues d'autres agents ou de précédentes simulations.

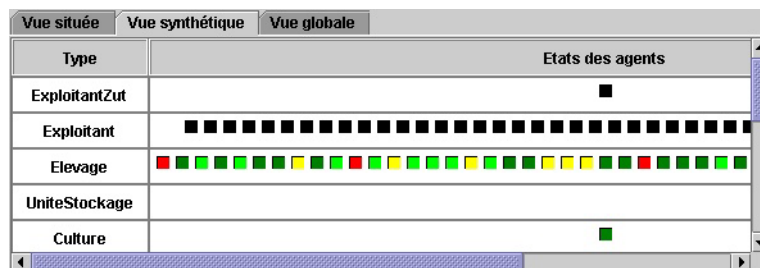
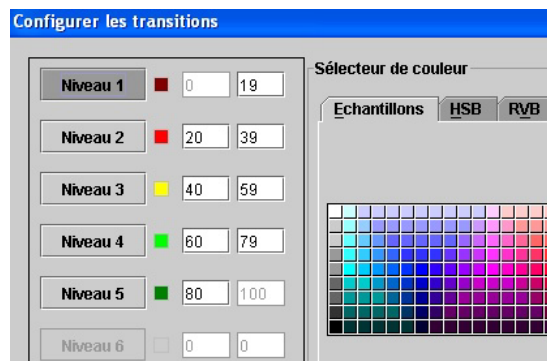
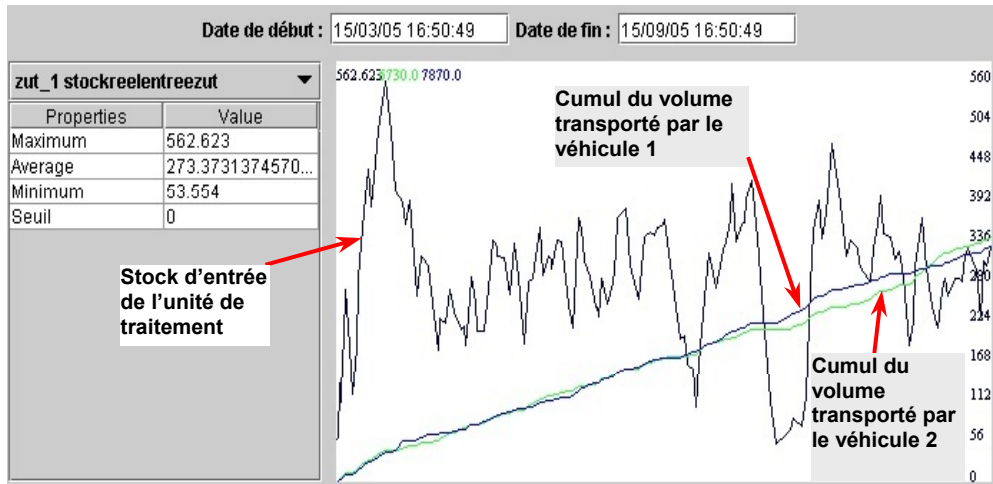
L'utilisateur peut choisir et ajuster les paramètres utilisés par l'inspecteur d'agents afin d'adapter la quantité et la précision des résultats, tout en limitant la charge de calcul du système. Autre facteur qui influence la vitesse d'exécution des simulations, la méthode de gestion du temps dans Geamas et la fréquence d'enregistrement des états dynamiques du système. Ces paramètres peuvent être réglés à l'aide de l'onglet Simulation du panneau Action (Fig. 1, item n°6). En juxtaposant sur l'écran les inspecteurs d'agents différents, on a la possibilité de comparer leurs attributs et évolutions respectives.

UT1 propriétés		
Propriétés Messages Courbes		
Propriété	Valeur	Description
Nom	UT1	Nom de la Zut
Type	NDN_SP	Type de procede de traitement utilise
seuil bas alarme Mo(m3)	420.0	seuil stock ENTREE en m3 sous lequel alarme demande Mo lancee
seuil haut interdisant Mo(m3)	1456.0	seuil stock ENTREE en m3 a partir duquel refus Mo
stock.Reel.Entree	244.454	stock reel en entree (m3)
stock.Virtuel.Entree	472.568	stock virtuel en entree (m3)
Vol fosse Entree	1506.0	volume fosse en entree en m3
_reduction vol. boue (%)	0.0	pourcentage de réduction volume lisier->boue
_reduction vol. compost (%)	0.0	pourcentage de réduction volume lisier->compost
_reduction vol. lisier traité (%)	87.0	pourcentage de réduction volume lisier->lisier traité
_reduction vol. refus (%)	13.0	pourcentage de réduction volume lisier->refus
teneur en N Boue	0.0	masse de N dans 1000kg de boue en sortie
teneur en N Compost	0.0	masse de N dans 1000kg de compost en sortie
teneur en N LisierTraite	0.16	masse de N dans 1000kg de lisier traite en sortie
_teneur en N Refus	11.58	masse de N dans 1000kg de refus en sortie
Besoin par jour (m3)	54.0	Volume necessaire en entree par jour (m3)
debit production (m3)	13.5	Volume en m3 transforme durant 6h par la Zut
vBoue.Max	100000.0	volume Maximal de boue en m3 avant debordement
vBoue.Reel	0.0	volume reel de boue produite en m3
vBoue.Virtuel	0.0	volume virtuel de boue en m3
vCompost.Max	100000.0	volume Maximal de compost en m3 avant debordement
vCompost.Reel	0.0	volume reel de compost produit en m3
vCompost.Virtuel	0.0	(volume virtuel de compost produit en m3
vLisierTraite.Max	100000.0	volume Maximal du lisiertraite avant debordement en m3
vLisierTraite.Reel	15530.847	volume reel de lisiertraite produit en m3
vLisierTraite.Virtuel	15530.744	volume virtuel de lisiertraite produit en m3
volume entrant traite (m3)	19592.17	volume entrant total effectivement traite par la Zut (m3)
vRefus.Max	100000.0	volume Maximal de refus en m3 avant debordement
vRefus.Reel	2546.917	volume reel de refus produit en m3
vRefus.Virtuel	2546.917	volume virtuel de refus en m3

Figure 2 : Fenêtre « Propriétés » de l'agent unité de traitement.

UT1 propriétés		
Propriétés	Messages	Courbes
Effacer messages Afficher messages Sauvegarder messages		
(UT1.97)<22/08/05 17:45:07> UT1 demande 95.0 m3 de lisier a expZ_1 (UT1.98)<23/08/05 17:45:07> UT1 demande 60.0 m3 de lisier a expZ_1 (UT1.99)<25/08/05 17:45:07> UT1 demande 109.0 m3 de lisier a expZ_1 (Z0)<29/08/05 00:35:07> UT1 N'A PLUS DE STOCK DE lisier POUR LA PRODUCTION (UT1.100)<30/08/05 17:45:07> UT1 demande 54.0 m3 de lisier a expZ_1		

Figure 3 : Extrait de la liste des messages émis et reçus par un agent.



3.1.2. Observation agrégée

Des indicateurs colorés permettent d'évaluer de façon qualitative et de visualiser rapidement l'état de satisfaction (adéquation par rapport à un but) d'un agent observé par rapport à un critère environnemental ou agronomique. Cet indicateur est intégré dans l'icône représentant l'agent sur la vue située et confère sa couleur à l'icône figurant l'objet situé qui lui est associé (cf. Fig. 1, item n°8). Ceci permet de visualiser directement sur la carte, l'état des agents sans recourir à leur examen détaillé.

Deux modes d'évaluation de ces indicateurs sont possibles :

1. valeur instantanée prise à chaque pas de temps de simulation ;
2. valeur globale calculée sur la durée de simulation.

Dans le menu Affichage, un sous-menu 'Configuration des transitions' donne accès au paramétrage des transitions de changement d'état de l'agent. L'utilisateur a la possibilité de modifier les couleurs de l'indicateur caractérisant ces états, ainsi que les valeurs des seuils définissant le passage d'un état à l'autre, en personnalisant ainsi l'apparence des alertes visuelles (cf. Fig. 1, item n°2 et Fig. 5). La figure 5 ne présente que six niveaux de satisfaction. Quinze niveaux peuvent être définis avec des seuils différents pour chaque type d'agent.

L'ensemble de ces indicateurs de satisfaction est regroupé par catégorie dans la fenêtre 'Vue synthétique'. Cette vue permet à l'utilisateur de comparer facilement l'état d'un agent particulier par rapport à l'état dans lequel se trouvent les autres agents de sa catégorie (Fig. 6).

3.2. Observation à l'échelle supra-individuelle

Nous avons décrit des outils pour analyser le fonctionnement individuel des agents. Afin d'interpréter au mieux une simulation, il nous faut aussi observer les interactions entre agents communiquant et négociant par échange de messages. Deux moyens existent pour observer ces mécanismes.

Dans la fenêtre 'Vue située' on peut visualiser les « réseaux d'acointances » des agents qui sont représentés par des liens orientés (cf. Fig. 1, item n°7). L'épaisseur des flèches est proportionnelle au volume de messages échangés entre les agents. Cet artefact visuel permet d'identifier les sous-ensembles d'agents en forte interaction facilitant ainsi l'étude organisationnelle du système.

A la fin de chaque simulation, le simulateur enregistre les données de simulation dans des fichiers spécifiques. Les messages échangés sont enregistrés avec leurs propriétés (identifiant du scénario, date, expéditeur, destinataire et contenu). Un traceur de messages permet d'exploiter ces fichiers. Les messages sont affichés sous la forme d'un graphique qui illustre l'enchaînement des conversations entre agents (Fig. 7). En appliquant un filtre pour ne sélectionner que les messages relatifs à un scénario précis, l'utilisateur a la possibilité d'analyser en détail les processus de négociation et de voir à quel résultat les agents observés ont abouti, d'en analyser les raisons et de vérifier leur adéquation aux scénarios définis. Cet outil est compatible avec le format des messages respectant les spécifications KQML et FIPA-ACL [Nirlo et Severin, 2004].

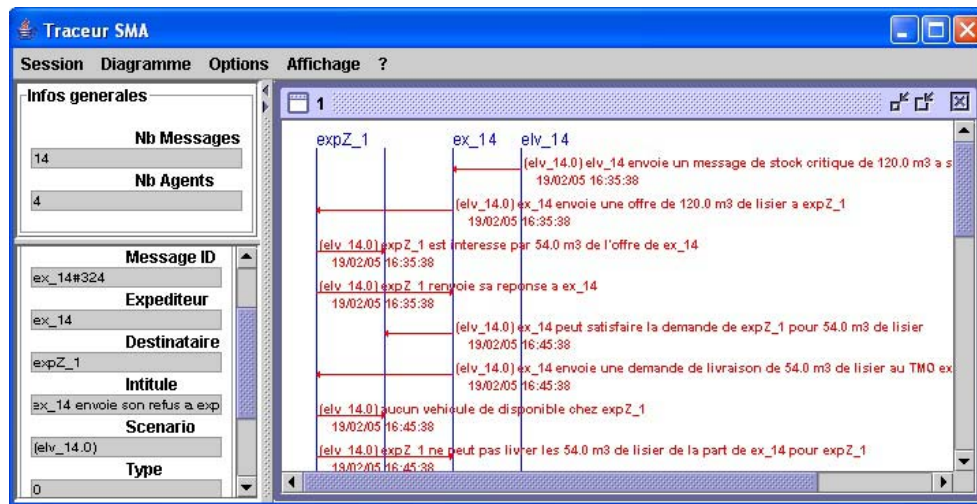


Figure 7 : Le traceur de messages

Il est possible en cours de simulation d'accéder à l'ensemble des messages échangés via l'onglet Messages du panneau « Infos ». Mais à ce niveau on ne dispose que d'une liste brute de l'ensemble des messages produits au cours du temps, sans disposer des possibilités de filtrage permettant de reconstituer les enchaînements relatifs à une conversation déterminée qui facilitent grandement la vérification et la mise au point du modèle, ainsi que la compréhension des interactions entre agents.

Par ailleurs, d'autres outils permettent de visualiser la situation simulée à différentes échelles. L'utilisateur peut adapter à ses besoins les trois types d'outils de visualisation principaux :

1. Le panneau carte (Fig. 1, item n°3) associé à l'onglet 'vue située' du panneau 'Vues' permet de sélectionner la portion géographique à observer dans la fenêtre 'vue située'. A tout moment, l'utilisateur peut ainsi focaliser sur la zone observée à l'endroit où un événement intéressant se produit.
2. La 'Vue située' est la plus riche en informations. Geamas autorise le filtrage sélectif d'informations sur certaines vues, grâce à l'utilisation de calques. Ceux-ci permettent de n'afficher que les informations pertinentes pour l'analyse envisagée concernant certains types d'agents (élevages, cultures, moyens de transport...) ou d'objets situés (routes, zones illégales d'épandage) (Fig. 8).
3. La 'Vue globale' donne une représentation schématique des indicateurs de satisfaction des agents dans l'espace géographique global (Fig. 9). L'observateur peut ainsi se concentrer sur les zones où des agents présentent des états critiques (stocks en débordement, etc.) sans être distrait par des éléments annexes. Dans cette vue, les calques permettent aussi de sélectionner les types d'agents ou d'objets situés que l'on souhaite observer.

Ces trois vues permettent d'observer de façon complémentaire, à la fois, des phénomènes locaux et l'émergence de phénomènes globaux. Elles donnent aussi la possibilité de localiser le lieu où le phénomène observé se produit.

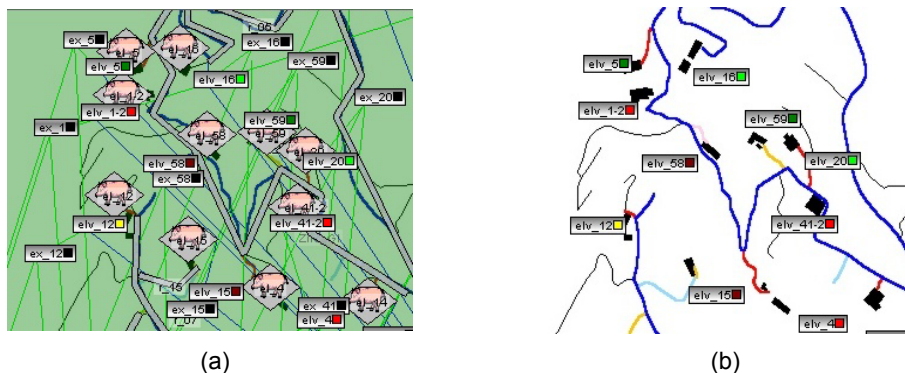


Figure 8 : (a) Situation de gestion montrée par les agents exploitants (ex), les agents élevage (elv), les objets situés (bâtiments d'élevage, routes) et les relations d'acoissances. (b) Même situation avec uniquement les agents élevage montrés sur un fond de carte.

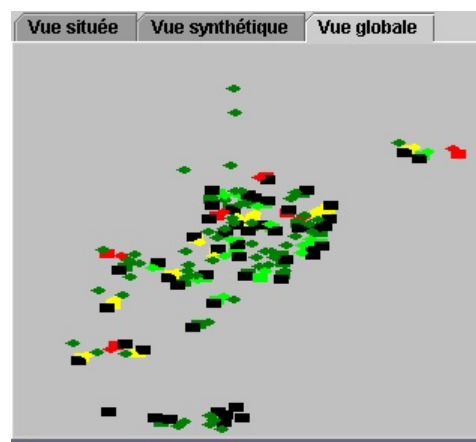


Figure 9 : Vue globale.

4. Outils complémentaires

Il est apparu à l'usage certaines lacunes dans nos outils d'observation. Aussi, envisageons-nous de développer deux nouveaux outils : un « Gestionnaire de Profil d'Observation » permettant le paramétrage de l'observation et un « Explorateur d'interactions » permettant l'analyse post-simulation.

4.1. Gestionnaire de profils d'observation

La multitude d'outils d'observation, si elle contribue à enrichir les possibilités d'analyse, pose néanmoins le problème de complexifier l'utilisation de la plateforme. En effet, plus on peut agir sur des sous-parties de l'ensemble, plus il faut solliciter des interacteurs différents pour obtenir une configuration spécifique à un

besoin d'observation déterminé. Cette complexité est néfaste principalement pour deux raisons :

- l'expert qui analyse les données n'est pas toujours compétent pour parvenir à effectuer les réglages appropriés à l'observation ;
- le temps de réalisation des réglages peut être fortement contraignant pour l'observation d'un phénomène ponctuel et de courte durée.

Pour pallier ces problèmes, nous envisageons de concevoir un 'Gestionnaire de profils d'observation' rassemblant un ensemble de paramètres d'observation destinés à une analyse particulière. Cet outil prendra la forme d'un menu supplémentaire dans l'interface utilisateur (Fig. 10).

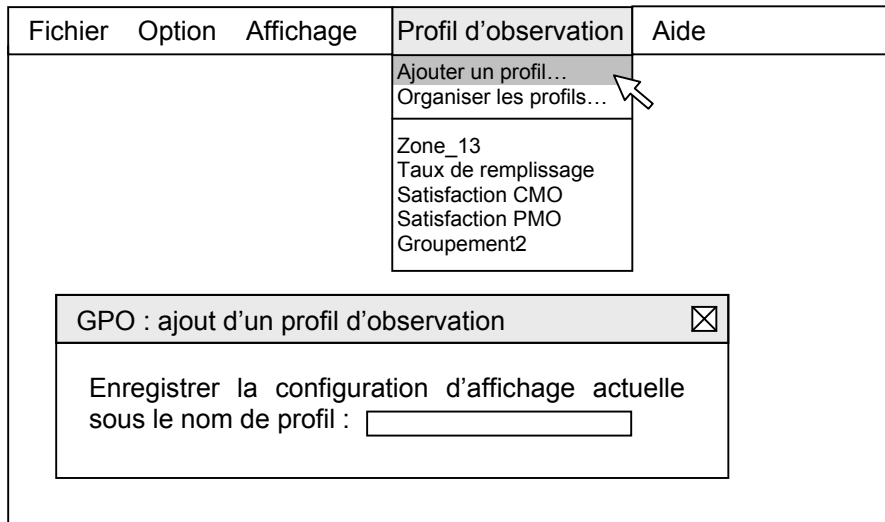


Figure 10 : Gestionnaire de Profil d'Observation (GPO).

Par ce menu, il sera possible d'enregistrer l'ensemble des paramètres d'observation courants dans un nouveau profil (outils utilisés et leur disposition), et d'accéder aux profils précédemment définis. Ainsi, par exemple, l'élaboration de certains profils pourra être confiée à un informaticien expérimenté au maniement de la plate-forme. Cela facilitera alors le travail de l'utilisateur chargé d'analyser les simulations par la suite. Cet outil permettra l'édition de profils d'observation multiples et facilitera le passage d'un profil à un autre. Durant son analyse, l'utilisateur pourra changer de profil et réagir ainsi rapidement aux situations qui émergeront en cours de simulation.

4.2. Explorateur d'interactions

L'explorateur d'interactions sera conçu comme un outil d'analyse post-simulation permettant de coupler les fonctions du traceur de messages et du grapheur de courbes d'évolution d'attributs dynamiques. Il permettra l'étude de l'évolution de l'état d'un agent en fonction de la succession des messages échangés. C'est le principe des liens hypertextes, appliqué à la navigation dans les outils de Geamas (Fig. 11). L'utilisateur sélectionnera l'agent à observer en cliquant sur un lien accolé au message. Cet outil devrait faciliter l'exploration des nombreux messages

qui ont circulés dans le système en donnant à l'utilisateur la possibilité de consulter l'état de l'agent émetteur ou récepteur, à l'instant où ce dernier a émis ou reçu le message.

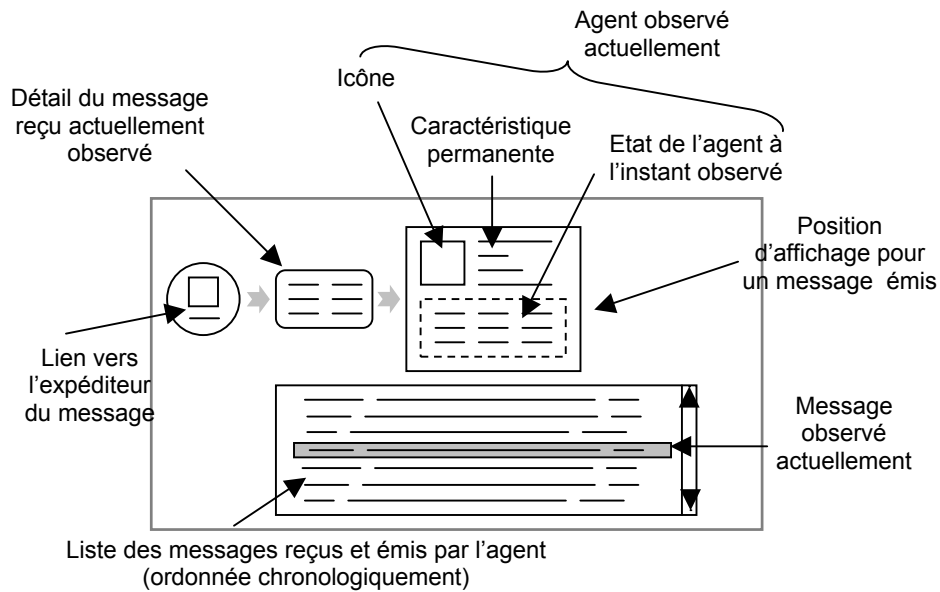


Figure 11 : Explorateur d'interactions

Grâce à ce nouvel outil, l'utilisateur pourra naviguer rapidement entre les différents outils présentés précédemment, afin de suivre le phénomène qu'il souhaite observer. Ainsi, pourra-t-il observer les réactions d'un agent à la réception d'un message particulier, et visualiser son évolution afin d'analyser les raisons qui l'ont conduit à réagir de cette façon. L'utilisateur aura aussi la possibilité de naviguer entre les différentes échelles d'observation.

5. Liste d'exigences d'outils d'observation et d'analyse de simulations multi-agents

Notre expérience d'utilisation de la plate-forme Geamas sur une application complexe telle que Biomas, nous permet de faire un bilan des exigences devant être satisfaites par une plate-forme de simulation SMA afin de fournir un support d'analyse pertinent à l'utilisateur.

Nous avons réparti ces exigences dans deux ensembles structurés suivant les quatre phases identifiées dans la figure 12 : les exigences en terme de paramétrage de l'observation (avant et après la simulation) et les exigences en terme d'outils de visualisation et d'analyse (pendant et après la simulation). En *italique* nous mentionnerons l'outil de Geamas répondant actuellement à chacune des exigences citées.

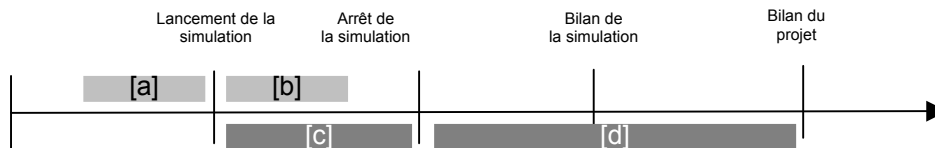


Figure 12 : Phases de paramétrage et d'observation. [a] paramétrage avant simulation, [b] paramétrage en cours de simulation, [c] observation en cours de simulation, [d] observation post-simulation.

5.1. Outils de paramétrage de l'observation

- [a] La plate-forme doit supporter un paramétrage avant simulation permettant :
- (1) de définir le sous-ensemble des propriétés représentant l'état observable de chaque type d'agent - *'conception des agents'* ;
 - (2) de choisir la fréquence d'enregistrement des états en rapport avec l'analyse à réaliser - *'choix de la fréquence d'enregistrement'* ;
 - (3) de régler la fréquence de mise à jour des éléments graphiques, voire de désactiver totalement l'affichage graphique - *menu 'préférences graphiques'* ;
 - (4) de personnaliser l'apparence et les niveaux de déclenchement des alertes visuelles afin de renforcer la sémantique des artefacts visuels en les adaptant à la thématique de l'analyse - *menu 'configurer les transitions' des indicateurs colorés* ;
 - (5) de rapprocher le rendu visuel du scénario à la réalité du système étudié afin de rendre l'interprétation intuitive - *fond de carte et icônes placées aux positions géographiques occupées par les agents*.
- [b] Durant l'exécution de la simulation, l'utilisateur doit pouvoir ajuster les outils d'observation afin d'avoir les possibilités suivantes :
- (6) consulter et redéfinir l'environnement des agents - *panneau 'carte'* ;
 - (7) réduire la quantité d'information présentée pour ne conserver que les éléments pertinents - *onglet 'calque'* ;
 - (9) ajuster la vitesse de déroulement de la simulation, afin de pouvoir ralentir le simulateur pour améliorer l'observation dans les cas où l'activité est intense - *onglet 'Simulation'* ;
 - (10) éditer des profils d'observation qui lui permettront de passer rapidement d'une vue à une autre - *gestionnaire de profil d'observation*.

5.2. Outils de visualisation et d'analyse

- [c] L'interface utilisateur de la plate-forme de simulation doit offrir des facilités d'observation et des outils d'analyse afin :
- (11) d'identifier et évaluer l'intensité des interactions entre agents (notamment la constitution de sous-ensembles) pour l'étude organisationnelle du système - *représentation des réseaux d'acointances dans la 'vue située'* ;
 - (12) de synthétiser les états des agents pour observer un phénomène émergent - *'vue synthétique'* ;

- (13) de fournir des vues épurées permettant d'observer des phénomènes à différentes échelles et à localiser l'endroit où ils surviennent - *'vue globale'* ;
- (14) de rendre compte de l'activité détaillée des interactions entre agents - *onglet 'messages' du panneau 'informations'* ;
- (15) d'accéder rapidement à l'état du simulateur et aux paramètres de simulation - *onglet 'console'* ;
- (16) d'observer en détail les phénomènes locaux (état interne des agents) et suivre leur évolution au cours du temps - *'propriétés d'agent', onglets 'propriétés', 'messages' et 'courbes'* ;
- (17) de comparer l'évolution de plusieurs agents au cours du temps - *fenêtres 'propriété d'agent' et mise en pause de la simulation*.

[d] Cette interface doit être complétée par des outils d'analyse post-simulation permettant :

- (18) d'analyser en détail et filtrer les processus de négociation déclenchés au cours de la simulation afin de comprendre les raisons de leur aboutissement - *'Traceur de messages'* ;
- (19) de composer des graphiques superposant plusieurs courbes d'évolution pour faciliter l'étude dynamique d'un phénomène - *onglets 'courbes' des fenêtres 'propriétés' de chaque agent* ;
- (20) de naviguer rapidement entre les outils d'observation, pour suivre un phénomène entre différentes entités et à différentes échelles d'observation, *explorateur d'interactions*.

6. Conclusion

Dans cet article nous nous sommes intéressés à la problématique posée par l'aide à l'interprétation de simulations multi-agents comportant un nombre relativement élevé d'agents (plusieurs centaines, voire, à terme, plusieurs milliers) ayant la particularité d'être largement différents les uns des autres. Nous avons présenté une panoplie d'outils d'observation et de paramétrage permettant le suivi et l'analyse des interactions entre agents.

On constate que les plate-formes de simulation multi-agents sont, bien souvent, dépourvues d'outils adaptés. Ces plate-formes à vocation génériques ne sont pas conçues, en effet, pour simuler une gamme d'applications dans un domaine spécialisé, comme c'est le cas de Geamas/Biomass pour les systèmes de flux et de stocks. Si la généricité permet, en principe, une réutilisation accrue, elle pose néanmoins le problème de l'adéquation des outils d'observation et d'analyse pour la simulation d'un contexte applicatif particulier. C'est probablement pour cette raison que peu de publications traitent en détail des supports d'observation des modèles simulés, privilégiant plutôt l'analyse et la validation des principes théoriques sur lesquels sont bâtis le simulateur : gestion du temps [Michel, 2000], confrontation d'approches de modélisation agents (par exemple l'approche agents acteurs et agents spatiaux de [Bousquet et Gautier, 1999]). Dans notre approche, nous avons tenu compte de cette problématique : notre plate-forme de simulation générique Geamas est dissociée de l'application spécifique Biomass. Bien que Biomass ait souvent permis de générer l'idée de leur conception, ces outils ont été intégrés, par souci de généralisation, dans la plate-forme Geamas.

7. Bibliographie

Bousquet F., Bakam I., Proton H., Le Page C., 1998, Cormas: common-pool resources and multi-agent Systems. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 1416: 826-838.

Bousquet F., Gautier D., 1999, Comparaison de deux approches de modélisation des dynamiques spatiales par simulation multi-agents : les approches "spatiale" et "acteurs". *Cybergeog*, 89.

Cemagref, 2005,

http://www.lisc.clermont.cemagref.fr/Labo/activite_recherche/projets/Projets_en_cours/SimExplorer/SimExplorer.htm

Courdier R., Guerrin F., Andriamasinoro F. H., Paillat J.-M., 2002, Agent-based simulation of complex systems: application to collective management of animal wastes, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 5(3).

Farinet J.-L., Hurvois Y., Paillat J.-M., 2003, Macsizut : un modèle d'aide au choix de techniques de traitement des effluents d'élevage. In Guerrin, F., J.-M. Paillat, *Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité. Cas de la gestion des effluents d'élevage à l'île de la Réunion. Restitution des travaux de l'ATP 99/60. Actes du séminaire des 19-20 juin 2002*, Montpellier, Cirad Colloques, Cd-Rom.

Grimm V., 2002, Visual debugging: a way of analysing, understanding and communicating bottom-up simulation models in ecology. *Natural resource modelling*, 15(1): 23-38.

Guerrin F., 2004, Simulation of stock control policies in a two-stage production system. Application to pig slurry management involving multiple farms, *Computers and Electronics in Agriculture*, 45: 27-50.

Mac Cown R.L., 2002, Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms and prospects. *Agricultural Systems*, 74 (1): 179-220.

Marcenac P., Courdier R., 1999, *Experimentation with an Agent-Oriented Platform in JAVA*. In: Mohamed Fayad, Douglas Schmidt and Ralph Johnson (Eds) "Implementing Application Frameworks: Object-Oriented Frameworks at Work". Wiley and Sons' book, 672 pp + CD-Rom.

Michel F., 2000, Une approche méthodologique pour la conception et l'analyse de simulateur multi-agents, RJCIA.

Nirlo T., Severin, D., 2004, Rapport de TER, Maîtrise d'informatique, Université de la Réunion-Cirad.

Norman D.A., Draper S.W. (Eds.), 1986, *User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.

Rykiel E.J.J., 1996, Testing ecological models: the meaning of validation, *Ecological Modelling*, 90: 229-244.